KWARTALNIK TELEKOMUNIKACYJNY

CZASOPISMO

WYDAWANE PRZEZ SEKCJĘ TELEKOMUNIKACYJNĄ STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
przy poparciu
MINISTERSTWA POCZT i TELEGRAFÓW oraz MINISTERSTWA KOMUNIKACJI

Nr 4
1948

ROK II (5) PAŹDZIERNIK – GRUDZIEŃ Nr 4

KWARTALNIK TELEKOMUNIKACYJNY

CZASOPISMO

WYDAWANE PRZEZ SEKCJĘ TELEKOMUNIKACYJNĄ STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
przy poparciu
MINISTERSTWA POCZT i TELEGRAFÓW oraz MINISTERSTWA KOMUNIKACJI

TREŚĆ Nr 4

INŻ. ANTONI CZECHOWSKI

Wybór Q układu wyjściowego w urządzeniach radionadawczych

STRESZCZENIE.

Artykuł o wyborze Q jest uzupełnieniem poprzedniego artykułu: „Projektowanie układów wyjściowych w urządzeniach radionadawczych". Wybór Q obwodu obciążonego uzależniono od trzech czynników: sprawności ostatniego stopnia, tłumienia harmonicznych i obcinania wstęg bocznych. Dla rozpatrywanych poprzednio układów π, Y i M wyprowadzono potrzebne wzory oraz podano metodę postępowania przy wyborze Q układu. Dla porównania różnych układów podano odpowiednie krzywe i tabele, a następnie przeprowadzono dyskusję wyników.

Choice of Q of Output Networks in Radio Transmitters.

SUMMARY

This article is a supplement to preceding article of the same author: „Design of Output Networks in Radio Transmitters". The choice of Q of a loaded network depends upon three factors: efficiency of the output stage, suppression of harmonics and attenuation of sidebands. For all previously treated π, Y and M networks necessary relations and design procedure are presented. Curves and tables are added to make easy the comparison of different networks with regard to harmonic suppression and sideband attenuation.

1. WSTĘP.

Wartość spółczynnika przepięcia Q obwodu obciążonego wpływa na:

a. sprawność samego obwodu;
b. sprawność wzmacniacza mocy;
c. tłumienie harmonicznych;
d. tłumienie wstęg bocznych.

Sprawność samego obwodu jest tym większa im spółczynnik przepięcia obwodu jest mniejszy. Natomiast sprawność wzmacniacza mocy maleje [2]*) ze zmniejszeniem Q. Istnieje zatem pewne Q_η, przy którym sprawność całego stopnia – lampy z obwodem – osiąga wartość najwyższą, Zagadnienie wyboru Q obwodu z punktu widzenia sprawności całego stopnia omówione jest szczegółowo w artykule S. Ryżki [3]) i nie będzie w tym artykule omawiane, natomiast w następnych rozdziałach będzie przedyskutowany wpływ Q na tłumienie harmonicznych i na tłumienie wstęg bocznych.

*) Cyfry w odnośnikach oznaczają pozycję wykazu literatury.

2. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁADY FILTRUJĄCO-DOPASOWUJĄCE NIESYMETRYCZNE.

Ze względu na przejrzystość wyprowadzenia wzorów na tłumienie harmonicznych przez poszczególne układy zostały podane w formie dodatku w p. p. 5.2 — 5.5, a wyniki zostały zebrane w postaci tabeli 2.1. Na podstawie wzorów, zebranych w tej tabeli, wykonano szereg wykresów, ilustrujących tłumienie drugiej harmonicznej przez poszczególne układy, przy założeniu $Q = 10$ oraz kąta przepływu prądu w lampie $\frac{\Theta}{2} = 70^0$, tj. przy $\frac{I_{aII}}{I_{aI}} = 0{,}692$ [1]). Wykresy te są zebrane na rys. 1.

Zarówno wzory w tabeli 2.1, jak i wykresy na rys. 1, odnoszą się do tłumienia tylko drugiej harmonicznej. Rozpatrzono tłumienia tylko drugiej harmonicznej ze względu na to, że:

a) amplituda drugiej harmonicznej, wytwarzanej w lampie, jest większa od amplitud innych wyższych harmonicznych,

Tabela 2.1

Wzory dokładne i uproszczone na tłumienie harmonicznych przez poszczególne układy.

Typ układu	Pełny wzór na zawartość harmonicznych w obciążeniu.	Przybliżony wzór dla $R_0 \cong r$	Przybliżony wzór dla $R_0 \cong \frac{r}{Q^2}$
π 1	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left(3+4\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right)^2+\left[6Q\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+6Q\frac{R_0}{r}-\frac{8}{Q}\right]^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{1}{6Q\left(1+\sqrt{\frac{R_0}{r}}\right)}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{1}{3Q}$
π 2	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left(3-4\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right)^2+\left[\frac{3}{2}Q\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+\frac{2}{Q}\right]^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{2}{3Q}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{1}{3Q}$
π 3	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{4\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[3+\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\left[\frac{2}{Q}-6Q\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{2}{3Q}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{4}{3Q}$
π 4	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}+\frac{Q^2}{4}\left(3\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right)^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{2}{3Q\sqrt{\frac{R_0}{r}}}$	—
π 5	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}+\frac{Q^2}{4}\left(3\frac{R_0}{r}-\frac{4}{Q^2}\right)^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{2}{3Q\sqrt{\frac{R_0}{r}}}$	—
π 6	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{4\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[3-\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\frac{Q^2}{4}\left[3\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+3\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right]^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{8}{3\left(1+\sqrt{\frac{R_0}{r}}\right)Q}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{4}{3Q}$
	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{III}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{III}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{9\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[8-\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\frac{Q^2}{9}\left[8\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+8\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right]^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{III}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{III}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{27}{8\left(1+\sqrt{\frac{R_0}{r}}\right)Q}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{III}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{III}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{9}{8Q}$
Y 1	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[3Q\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}-1\right]^2+\left[\frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}+3Q\right)\right]^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{2}{3Q}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{1}{3Q}$
Y 2	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[\frac{3}{4}Q\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}+1\right]^2+\left[\frac{1}{2}\left(3Q-\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}\right)\right]^2}}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{2}{3Q}$	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{4}{3Q}$
M	$\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{1+Q_2^2}}{Q\sqrt{\left(3Q_2-\frac{4}{Q}\right)^2+\left(\frac{3}{2}+2\frac{Q_2}{Q}\right)^2}}$	$Q_2 \cong \frac{2}{Q}$ $\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{2}{3Q}$	$Q_2 \cong Q$ $\left\lvert\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right\rvert \cong \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{1}{3Q}$

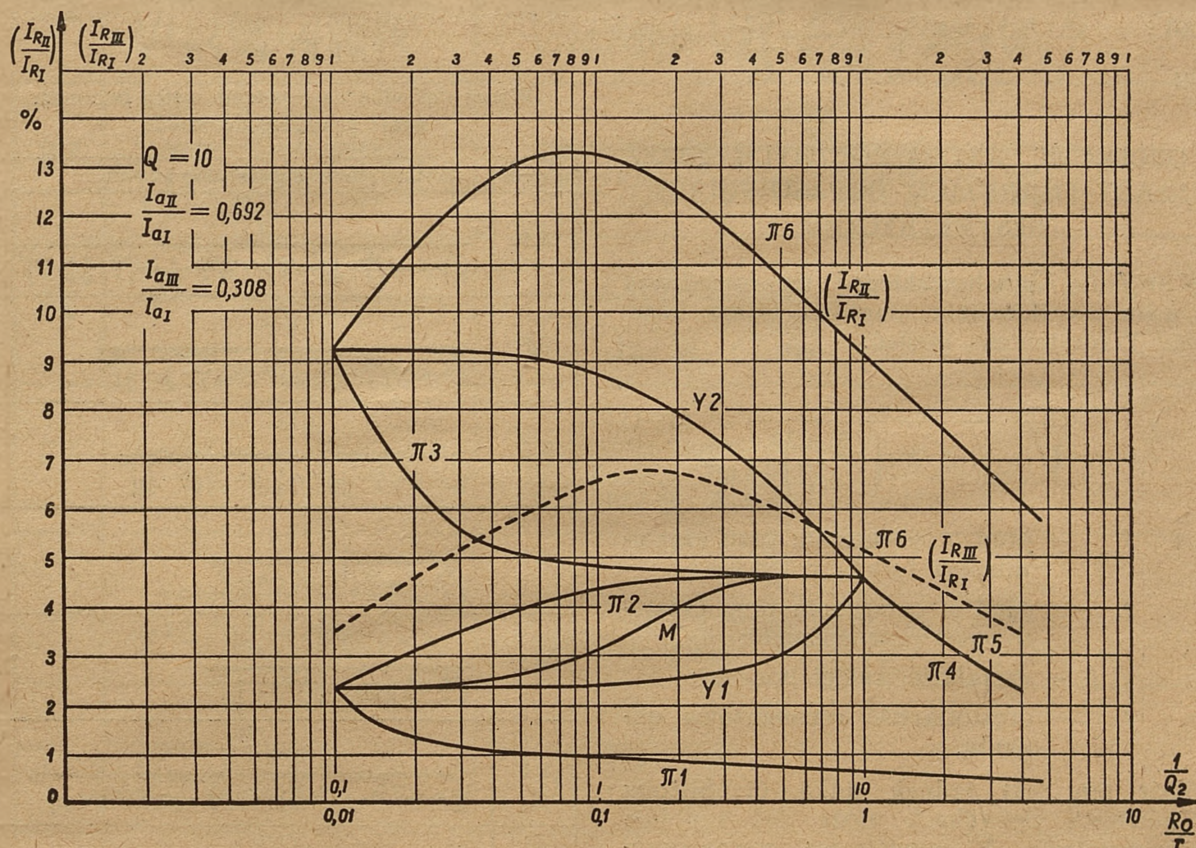
b) wyższe harmoniczne są skuteczniej tłumione od drugiej harmonicznej ze względu na ich wyższą częstotliwość.

Wyjątek stanowi układ π 6, który wyższych harmonicznych bynajmniej nie tłumi skuteczniej od drugiej harmonicznej. Dlatego w tabeli 2.1 podano dla układu π 6 wzory na wartość drugiej i trzeciej harmonicznej; analogicznie na rys. 1 podano dla układu π 6 dwie krzywe: zawartość drugiej i trzeciej harmonicznej w tych samych warunkach co i dla innych układów, tj. przy $Q = 10$ i $\frac{\Theta}{2} = 70^0$.

W zakresie dopasowywania od $R_0 = r$ w górę:

układ π 1
„ π 4 i π 5
„ π 6.

Układ π 1 jest najlepszym filtrem w całym zakresie dopasowywania. Układów $Y2$ i π 6 raczej nie należy stosować. Układ π 6 jest najgorszy, jeżeli chodzi o tłumienie wyższych harmonicznych, a w razie stosowania tego układu należy się liczyć z trzecią harmoniczną na równi z drugą. Układ π 6 jest filtrem górnoprzepustowym i nadaje się szczególnie do tłu-



Rys. 1. Krzywe tłumienia harmonicznych przez poszczególne układy filtrująco-dopasowujące.

Z rys. 1 wynika uszeregowanie układów co do ich skuteczności w tłumieniu wyższych harmonicznych. Mianowicie w zakresie dopasowywania od $R_0 = \frac{r}{Q^2}$ do $R_0 = r$ kolejność w skuteczności tłumienia harmonicznych przez układy (poczynając od największej) jest następująca:

układ π 1
„ $Y1$
„ M
„ π 2
„ π 3
„ $Y2$
„ π 6

mienia składowych o częstotliwościach niższych od częstotliwości rezonansowej układu.

Wzory, zebrane w tabeli 2.1, pozwalają na obliczenie zawartości drugiej harmonicznej dla dowolnych Q i dla dowolnego stosunku $\frac{R_0}{r}$, ale korzystanie z nich jest dosyć żmudne — a przecież nie zawsze chodzi o dużą dokładność. Dlatego, zwłaszcza w przeliczeniach wstępnych, można stosować metodę mniej dokładną ale szybszą obliczania zawartości harmonicznych. Metoda ta opiera się na stwierdzeniu, że w pierwszym przybliżeniu zawartość harmonicznych jest odwrotnie proporcjonalna

do spółczynnika przepięcia Q (patrz tabela 2.1, wzory przybliżone).

Jeżeli więc zajdzie potrzeba szybkiego określenia zawartości harmonicznych dla dowolnego Q_x i dowolnego $\frac{R_0}{r}$, to należy odczytać z odpowiedniej krzywej na rys. 1 wartość

$$\frac{\hat{I}_{RII}}{\hat{I}_{RI}}\Bigg|_{Q=10}$$ dla zadanego stosunku $\frac{R_0}{r}$,

a następnie obliczyć:

$$\frac{\hat{I}_{RII}}{\hat{I}_{RI}}\Bigg|_{Q=x} = \frac{\hat{I}_{RI}}{\hat{I}_{RI}}\Bigg|_{Q=10} \cdot \frac{10}{Q_x} \qquad (2-1)$$

3. OBCINANIE WSTĘG BOCZNYCH PRZEZ UKŁADY FILTRUJĄCO-DOPASOWUJĄCE NIESYMETRYCZNE.

W artykule Nienałtowskiego [7]) wyprowadzony jest wzór na tłumienie amplitud wstęg bocznych. Wzór ten ma postać:

$$\frac{I_f}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + 4\,Q^2\left(\frac{\triangle\omega}{\omega_0}\right)^2}} \qquad (3-1)$$

gdzie: I_f — prąd w obciążeniu przy częstotliwości $f = f_0 \pm \triangle f$;

I_0 — prąd w obciążeniu przy częstotliwości rezonansowej;

$\triangle f$ — szerokość wstęgi bocznej;

f_0 — częstotliwość rezonansowa obwodu.

Wzór ten jest jednak tylko przybliżony i w pewnych wypadkach może dać zupełnie fałszywe wyniki. Mianowicie jest rzeczą oczywistą, że układy rezonansowe na tej samej zasadzie obcinają wstęgi boczne, na jakiej tłumią harmoniczne. Ponieważ stwierdziliśmy, że różne układy w różnym stopniu tłumią harmoniczne, to jest do przewidzenia, że różne układy będą obcinały wstęgi boczne także w różnym stopniu; poza tym należy przypuszczać, że obcinanie wstęg bocznych będzie zależało od stosunku $\frac{R_0}{r}$ — podobnie jak to było w wypadku harmonicznych — oraz, że poszczególne układy będą różnie tłumiły wstęgę górną i wstęgę dolną.

Ponieważ zjawisko tłumienia wstęg bocznych przez układy filtrująco-dopasowujące jest identyczne ze zjawiskiem tłumienia harmonicznych, to i wzory w ogólnej postaci muszą być te same. Wystarczy wziąć odpowiednie zależności na tłumienie harmonicznych dla poszczególnych układów, przy czym należy podstawić:

$$\frac{I_{an}}{I_{aI}} = 1 \qquad (3-2)$$

oraz

$$n = 1 \pm \frac{\triangle f}{f_0} \qquad (3-3)$$

gdzie „+" dla wstęgi górnej,
„—" dla wstęgi dolnej.

TABELA 3.1.

Wzory dokładne na tłumienie wstęg bocznych przez poszczególne układy

Typ układu	Dokładny wzór na tłumienie wstęg bocznych
π 1	$\frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[1-n^2-n^2\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+n^2Q^2\left[(n^2-1)\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+n^2\left(\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}\right)-\frac{R_0}{r}\right]^2}}$
π 2	$\frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[1-n^2+n^2\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\frac{1}{n^2}\left[(n^2-1)Q\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+\frac{n^2}{Q}\right]^2}}$
π 3	$\frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[(n^2-1)+\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+n^2\left[\frac{1}{Q}-(n^2-1)Q\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2}}$
π 4	$\frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}+\frac{Q^2}{n^2}\left[\frac{R_0}{r}(n^2-1)+\frac{1}{Q^2}\right]^2}}$
π 5	$\frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}+Q^2n^2\left[\frac{1-n^2}{n^2}\cdot\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right]^2}}$
π 6	$\frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[n^2-1-\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\frac{Q^2}{n^2}\left[(n^2-1)\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+(n^2-1)\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right]^2}}$
Y 1	$\frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[1-(n^2-1)Q\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}\right]^2+\frac{1}{n^2}\left[(n^2-1)Q+\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}\right]^2}}$
Y 2	$\frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[1+\frac{n^2-1}{n^2}\cdot Q\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}\right]^2+\frac{1}{n^2}\left[(n^2-1)Q-n^2\sqrt{\frac{r}{R_0}-1}\right]^2}}$
M	$\frac{\sqrt{1+Q_2^2}}{Q\sqrt{\left[Q_2(n^2-1)-\frac{n^2}{Q}\right]^2+\left[\frac{n^2-1}{n}+n\frac{Q_2}{Q}\right]^2}}$

W tabeli (3.1) zebrane są odpowiednie zależności dla omawianych w tym artykule układów.

W tabeli (3.2) podano te same zależności, ale przybliżone — a wskutek tego i prostsze w liczeniu.

TABELA 3.2.

Wzory uproszczone na tłumienie wstęg bocznych przez poszczególne układy.

Typ układu	Wzory uproszczone na tłumienie wstęg bocznych. (górny znak dla wstęgi górnej, dolny znak dla dolnej)	
	$\frac{R_0}{r} \cong \frac{1}{Q^2}$	$\frac{R_0}{r} > \frac{10}{Q^2}$
$\pi 1$	$\frac{1}{\sqrt{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0} + 4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{\left[1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\left(1+\sqrt{\frac{r}{R_0}}\right)\right]^2 + 4\left(1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right) Q^2 \cdot \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 \cdot \left[\sqrt{\frac{R_0}{r}} + \frac{R_0}{r}\right]^2}}$
$\pi 2$	$\frac{1}{\sqrt{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0} + 4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{\left[1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\left(1-\sqrt{\frac{r}{R_0}}\right)\right]^2 + \frac{4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}} \cdot Q^2 \frac{R_0}{r} \pm 4\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\sqrt{\frac{R_0}{r}}}}$
$\pi 3$	$\frac{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0} + 4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}}$	$\frac{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}{\sqrt{\left[1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\sqrt{\frac{r}{R_0}}\right]^2 + \left(1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)\left[\frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{Q} \mp 2Q\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right]^2}}$
$\pi 4$	—	$\frac{1}{\sqrt{1 + 4\frac{Q^2}{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}} \cdot \frac{R_0}{r}\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}}$
$\pi 5$	—	$\frac{1}{\sqrt{1 + 4\frac{Q^2}{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}} \cdot \frac{R_0}{r} \cdot \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}}$
$\pi 6$	$\frac{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0} + 4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}}$	$\frac{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}{\sqrt{\left[1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\sqrt{\frac{r}{R_0}}\right]^2 + \frac{4Q^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}} \cdot \left[\sqrt{\frac{R_0}{r}} + \frac{R_0}{r}\right]^2}}$
$Y 1$	$\frac{1}{\sqrt{1 + 4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4Q^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}}}$
$Y 2$	$\frac{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0} + 4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4Q^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}}}$
M	$Q_2 > 1 \quad (Q_2 \cong Q)$	$Q_2 < 1 \quad \left(Q_2 \cong \frac{2}{Q}\right)$
	$\frac{1}{\sqrt{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0} + 4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 \pm 4\frac{\Delta\omega}{\omega_0} + \frac{4\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 Q^2}{1 \pm 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}}}$

Ze względu na to, że występują trzy zmienne niezależne $\left(Q, \frac{R_0}{r}, \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)$, nie przedstawiono wyników w postaci krzywych, natomiast wykonano przeliczenia wg. podanych wzorów przy następujących założeniach: $Q = 10$; $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 0{,}1$. Wyniki zestawiono w tabeli (3.3). Z zestawienia tego wynika, że:

TABELA 3—3.
Tłumienie wstęg bocznych w *db* przy założeniach:

$$Q = 10; \quad \frac{\triangle \omega}{\omega_0} = 0{,}1$$

Typ układu	Wstęga dolna			Wstęga górna		
	$R_0 = \frac{r}{Q^2}$	$R_0 = r$	$R_0 = 3r$	$R_0 = \frac{r}{Q^2}$	$R_0 = r$	$R_0 = 3r$
π 1	6,78	10,82	13,51	7,12	13,69	16,22
π 2	6,78	7,37	—	7.12	6,68	—
π 3	8,29	7,37	—	5,87	6,68	—
π 4	—	7,37	11,91	—	6,68	10,55
π 5	—	7,37	11,43	—	6,68	10,64
π 6	8,29	14,31	17,11	5,87	9,95	12,84
$Y1$	6,78	7,37	—	7,12	6,68	—
$Y2$	8,29	7,37	—	5,87	6,68	—
M	$Q_2 = Q$	$Q_2 = \frac{2}{Q}$		$Q_2 = Q$	$Q_2 = \frac{2}{Q}$	
	6,4	7,45		7,44	6,23	

a. wzoru przybliżonego (3—1) nie można stosować przede wszystkim dla układów π 1 i π 6;

b. wzoru przybliżonego (3—1) nie można stosować dla układów π 4 i π 5 dla $\frac{R_0}{r} > 1$;

c. górna wstęga jest bardziej tłumiona niż dolna przez układ π 1;

d. dolna wstęga jest bardziej tłumiona niż górna przez układy; π 3, π 4, π 5, π 6, $Y2$, przy czym różnica w tłumieniu wstęgi górnej i dolnej przez układy π 4 i π 5 jest niewielka;

e. układy π 2 $Y1$ i M mogą tłumić bardziej wstęgę górną lub dolną, w zależności od stosunku $\frac{R_0}{r}$, przy czym wartość tłumienia nie wiele odbiega od wartości, jaką otrzymalibyśmy przez zastosowanie wzoru (3—1) (w danym wypadku wartość ta wynosi 7 db.).

4. SPOSÓB POSTĘPOWANIA PRZY WYBORZE Q UKŁADU.

a. Należy znać lub założyć:

wartość spółczynnika przepięcia obwodu przy biegu luzem Q_1;
dopuszczalne zniekształcenia amplitudy wstęg bocznych $\frac{I_f}{I_0}$,
szerokość pasma modulującego (kluczującego) $\triangle f$,
stosunek $\frac{R_0}{r}$.

b. Określić Q_η z warunku na maksymalną sprawność całego stopnia wg wzoru:[8])

$$Q_\eta = \frac{Q_1 - \frac{\pi}{2}}{1 + \sqrt{\frac{2\,Q_1}{\pi}}} \qquad (4\text{—}1)$$

lub z odpowiednich krzywych w artykule S. Ryżki.

c. Zgodnie z przepisami międzynarodowymi o promieniowaniu harmonicznych (załącznik 5.1) obliczyć dopuszczalną wartość stosunku $\frac{I_{RII}}{I_{RI}}$.

d, Wg wzoru pełnego z tabeli 2.1 lub z wykresów rys. 1 i korzystając ze wzoru (2—1) — określić Q_h, czyli minimalną wartość spółczynnika przepięcia ze względu na tłumienie harmonicznych.

e. Z otrzymanych wartości Q_η i Q_h należy wybrać większą, a następnie użyć jej do sprawdzenia wg odpowiedniego wzoru z tabeli 3—1 lub z tabeli 3—2, czy tłumienie wstęg bocznych nie jest większe od dopuszczalnego.

f. Jeżeli tłumienie wstęg bocznych jest mniejsze od dopuszczalnego, to należy przyjąć do dalszego projektowania wartość Q wybraną w p. e; wtedy układ wyjściowy ograniczy się do wybranego układu na początku projektowania.

g. Jeżeli tłumienie wstęg bocznych okazało się większe od dopuszczalnego, przy czym $Q_\eta > Q_h$, należy sprawdzić tłumienie wstęg bocznych przy Q_h. Jeżeli sprawdzenie to da wynik zadawalający, to należy przyjąć do dalszego projektowania Q_h i układ przyjęty na wstępie nie zmieni się.

h. Jeżeli tłumienie wstęg bocznych okaże się większe od dopuszczalnego zarówno przy Q_η jak i przy Q_h, to należy przyjąć do dalszego projektowania nową wartość Q_b taką, by był spełniony warunek tłumienia wstęg bocznych. Następnie za zasadniczym układem filtrująco-dopasowującym, wybranym na wstępie, trzeba dobudować filtr na harmoniczne. Filtr dodatkowy robi się zwykle dla dopasowania $^1/_1$ i o małym Q ze względu na obcinanie wstęg bocznych. Ostateczna zawartość harmonicznych za filtrem dodatkowym musi być zgodna z wymaganiami międzynarodowymi. Dodatkowy filtr oczywiście podraża urządzenie, zwiększa jego kubaturę, zmniejsza jego sprawność i komplikuje eksploatację nadajnika.

5. ZAŁĄCZNIKI.

5.1. WYCIĄG Z PRZEPISÓW MIĘDZYNARODOWYCH Atlantic City 1947.

Dodatek 4.

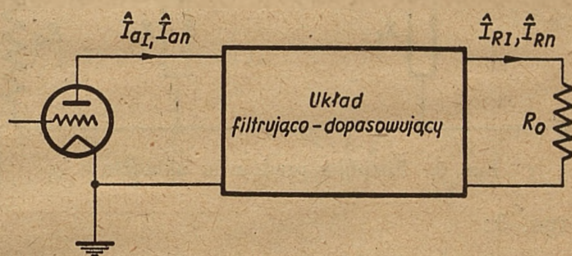
Tabela tolerancji dla natężenia harmonicznych i promieniowania pasożytniczego.*)

(patrz artykuł 17)

Zakres częstotliwości	Tolerancja
10 do 30000 kc/s	Moc **) harmonicznej albo promieniowania pasożytniczego musi być 40 db poniżej mocy składowej podstawowej, a w żadnym wypadku moc ta nie może przekraczać 200 mW.

5.2. WYPROWADZENIE OGÓLNEGO WZORU NA ZAWARTOŚĆ HARMONICZNEJ.

Jeżeli przedstawić układ filtrująco-dopasowujący w postaci czwórnika, jak na rys. 2 i wprowadzić następujące oznaczenia:



Rys. 2.

$\hat{I}_{aI}$ — składowa podstawowa prądu anodowego lampy,

$\hat{I}_{an}$ — składowa harmoniczna rzędu n-tego prądu anodowego lampy,

$\hat{I}_{RI}$ — składowa podstawowa prądu w oporze obciążenia R_0,

$\hat{I}_{Rn}$ — n-ta harmoniczna prądu w oporze obciążenia R_0,

to można napisać:

$$\left|\frac{\hat{I}_{Rn}}{\hat{I}_{RI}}\right| = \left|\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{aI}}\right| \cdot \frac{\left|\frac{\hat{I}_{aI}}{\hat{I}_{RI}}\right|}{\left|\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}}\right|} \qquad (5.2-1)$$

Stosunek $\left|\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{aI}}\right|$ zależy od punktu pracy

*) Dla stacji ruchomych należy starać się, jak pozwalają na to względy praktyczne, osiągnąć wyszczególnione tolerencje.

**) Moc, o której mowa, jest to moc dostarczona do anteny o częstotliwości harmonicznej lub promieniowania pasożytniczego.

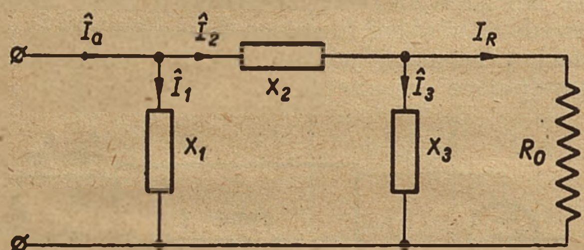
czyli od kąta przepływu prądu przez lampę i od wykładnika potęgowego charakterystyk danej lampy; stosunek ten można znaleźć w podręcznikach radiotechniki w rozdziale, traktującym o wzmacniaczach klasy C. Stosunki

$\left|\dfrac{\hat{I}_{a1}}{\hat{I}_{R1}}\right|$ i $\left|\dfrac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}}\right|$ zostaną wyprowadzone

osobno dla każdego układu.

5.3. WYPROWADZENIE WZORÓW NA TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁADY π.

5.3.1. WYPROWADZENIE WSPÓLNE DLA WSZYSTKICH UKŁADÓW π.



Rys. 3. Rozpływ prądów w układzie π.

z rys. 3:

$$\hat{I}_a = \hat{I}_1 + \hat{I}_2 \qquad (5.3.1-1)$$

$$\hat{I}_2 = \hat{I}_3 + \hat{I}_R \qquad (5.3.1-2)$$

$$jX_1 \cdot \hat{I}_1 = jX_2 \cdot \hat{I}_2 + jX_3 \cdot \hat{I}_3 \qquad (5.3.1-3)$$

$$jX_3 \cdot \hat{I}_3 = \hat{I}_R \cdot R_0 \qquad (5.3.1-4)$$

Z zależności (5.3.1—4):

$$\hat{I}_3 = \hat{I}_R \cdot \frac{R_0}{jX_3} \qquad (5.3.1-5)$$

Z zależności (5.3.1—2) i (5.3.1—5):

$$\hat{I}_2 = \hat{I}_R \left(1 + \frac{R_0}{jX_3}\right) \qquad (5.3.1-6)$$

Z zależności: (5.3.1—3), (5.3.1—4) i (5.3.1—6):

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_R \left(1 + \frac{R_0}{jX_3}\right)\frac{X_2}{X_1} + \frac{\hat{I}_R \cdot R_0}{jX_1} \qquad (5.3.1-7)$$

Z zależności: (5.3.1—1), 5.3.1—6) i (5.3.1—7):

$$\frac{\hat{I}_a}{\hat{I}_R} = \left(1 + \frac{R_0}{jX_3}\right)\left(1 + \frac{X_2}{X_1}\right) + \frac{R_0}{jX_1} \qquad (5.3.1-8)$$

Zależność (5.3.1—8) można przekształcić do postaci:

$$\frac{\hat{I}_a}{\hat{I}_R} = \frac{X_1 + X_2}{X_1} - j R_0 \left(\frac{X_1 + X_2 + X_3}{X_1 \cdot X_3}\right) \qquad (5.3.1-9)$$

Dla składowej podstawowej (rezonansowej) zależność (5.3.1—9) przekształca się na zasadzie warunku rezonansu (6.8, zależność (3.1—1)):

$$\frac{\hat{I}_{a1}}{\hat{I}_{R1}} = \frac{X_1 - X_1 - X'_3}{X_1} - j\,\frac{R_0(X_1 - X_1 - X'_3 + X_3)}{X_1 \cdot X_3} =$$

$$= -\frac{X'_3}{X_1} + j\,\frac{R_0}{X_1}\left(\frac{X'_3}{X_3} - 1\right) \qquad (5.3.1-10)$$

$$\frac{X'_3}{X_3} = \frac{R}{R_0}\left(\frac{R_0}{R} - 1\right) = 1 - \frac{R}{R_0} \qquad (5.3.11-1)^{*)}$$

Po podstawieniu (5.3.1—11) do (5.3.1—10):

$$\frac{\hat{I}_{a1}}{\hat{I}_{R1}} = -\frac{X'_3}{X_1} - j\,\frac{R}{X_1} \qquad (5.3.1-12)$$

Dla n-tej harmonicznej zależność (5.3.1—9) przyjmie postać:

$$\frac{I_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = \frac{X_{1n} + X_{2n}}{X_{1n}} - j R_0 \left(\frac{X_{1n} + X_{2n} + X_{3n}}{X_{1n} \cdot X_{3n}}\right) \qquad (5.3.1-13)$$

W dalszych rozważaniach przyjęto, że opór obciążenia dla harmonicznej ma taką wartość jak i dla podstawowej, dlatego w (5.3.1—13) występuje R_0, a nie R_{0n}.

5.3.2. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD $\pi 1$.

Układ $\pi 1$ charakteryzuje się następującymi zależnościami:

$$X_3 = -\frac{R_0}{\sqrt{\dfrac{R_0}{R} - 1}} \qquad (5.3.2-1)$$

---

*) Wg. 6.8, zależności (3.2—5) i (3.2—6).

$$X'_3 = -R\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} \qquad (5.3.2-2)$$

$$-\frac{X_1}{R} = Q \qquad (5.3.2.-3)$$

$$X_{1n} = \frac{X_1}{n} \qquad (5.3.2-4)$$

$$X_{2n} = nX_2 \qquad (5.3.2-5)$$

$$X_{3n} = \frac{X_3}{n} \qquad (5.3.2-6)$$

Zależność (5.3.1—12) przekształca się do postaci:

$$\frac{\hat{I}_{aI}}{\hat{I}_{RI}} = \frac{R}{X_1}\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} - j\frac{R}{X_1} = -\frac{\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1}}{Q} + j\frac{1}{Q} \qquad (5.3.2-7)$$

Stąd:

$$\frac{\hat{I}_{aI}}{\hat{I}_{RI}} = \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q} \qquad (5.3.2-8)$$

Wprowadzamy zależności (5.3.2—4, 5, 6) do (5.3.1—13), a następnie warunek rezonansu:

$$\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = \frac{\frac{X_1}{n} + nX_2}{\frac{X_1}{n}} - jR_0\frac{\left(\frac{X_1}{n} + nX_2 + \frac{X_3}{n}\right)}{\frac{X_1}{n}\cdot\frac{X_3}{n}} = \frac{X_1 - n^2X_1 - n^2X'_3}{X_1} -$$

$$- j\frac{R_0 \cdot n(X_1 - n^2X_1 - n^2X'_3 + X_3)}{X_1 \cdot X_3} = (1 - n^2) - n^2\frac{X'_3}{X_1} - jR_0 \cdot n\left(\frac{1 - n^2}{X_3} - \frac{n^2X'_3}{X_1X_3} + \frac{1}{X_1}\right) \qquad (5.3.2-9)$$

Wprowadzamy do (5.3.2—9) zależności (5.3.2—1, 2, 3) i (5.3.1—11):

$$\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = (1 - n^2) + \frac{n^2R\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1}}{X_1} - jR_0 \cdot n\left[\frac{n^2 - 1}{R_0}\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} - \frac{n^2}{X_1}\left(1 - \frac{R}{R_0}\right) + \frac{1}{X_1}\right] =$$

$$= (1 - n^2) - \frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1}}{Q} - jn\left\{(n^2 - 1)\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} + \frac{1}{Q}\left[n^2\left(\frac{R_0}{R} - 1\right) - \frac{R_0}{R}\right]\right\} \qquad (5.3.2-10)$$

Na podstawie zależności (5.2.—1), (5.3.2—8) i (5.3.2—10):

$$\left|\frac{\hat{I}_{Rn}}{\hat{I}_{RI}}\right| = \left|\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{aI}}\right| \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q\sqrt{\left[(1 - n^2) - \frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1}}{Q}\right]^2 + n^2\left\{(n^2 - 1)\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} + \frac{1}{Q}\left[n^2\left(\frac{R_0}{R} - 1\right) - \frac{R_0}{R}\right]\right\}^2}} \qquad (5.3.2-11)$$

Do zależności (5.3.1—11) wprowadzimy opór dynamiczny $r = Q^2 R$:

$$\left|\frac{\hat{I}_{Rn}}{\hat{I}_{RI}}\right| = \frac{I_{an}}{I_{aI}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[(1 - n^2) - n^2\sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2}}\right]^2 + n^2Q^2\left[(n^2 - 1)\sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2}} + n^2\left(\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2}\right) - \frac{R_0}{r}\right]^2}} \qquad (5.3.2-12)$$

Dla drugiej harmonicznej zależność (5.3.2—12) przyjmie postać:

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right| = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[-3-4\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2 + 4Q^2\left[3\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+3\frac{R_0}{r}-\frac{4}{Q^2}\right]^2}} \qquad (5.3.2-13)$$

5.3.3. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD π2.

$$X_3 = \frac{R_0}{\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}} \qquad (5.3.3-1)$$

$$X'_3 = R\sqrt{\frac{R_0}{R}-1} \qquad (5.3.3-2)$$

$$-\frac{X_1}{R} = Q \qquad (5.3.3-3)$$

$$X_{1n} = \frac{X_1}{n} \qquad (5.3.3-4)$$

$$X_{2n} = n\,X_2 \qquad (5.3.3-5)$$

$$X_{3n} = n\,X_3 \qquad (5.3.3-6)$$

$$\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}} = \frac{-R\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}}{X} - j\frac{R}{X_1} = \frac{1}{Q}\left(\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}+j\right) \ldots\ldots (5.3.3-7)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{R_0}{R}-1+1} = \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q} \ldots\ldots\ldots\ldots (5.3.3-8)$$

$$\frac{\hat{I}_{a_n}}{\hat{I}_{R_n}} = \frac{\frac{X_1}{n}+nX_2}{\frac{X_1}{n}} - jR_0\frac{\left(\frac{X_1}{n}+nX_2+nX_3\right)}{\frac{X_1}{n}\cdot nX_3} =$$

$$= (1-n^2) - \frac{n^2X'_3}{X_1} - j\frac{R_0}{n}\left[\frac{1-n^2}{X_3} - \frac{n^2X'_3}{X_1X_3} + \frac{n^2}{X_1}\right] =$$

$$= (1-n^2) + \frac{n^2}{Q}\sqrt{\frac{R_0}{R}-1} - \frac{j}{n}\left[(n^2-1)\cdot\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}+\frac{n^2}{Q}\right] \ldots (5.3.3-9)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{Rn}}{\hat{I}_{RI}}\right| = \frac{I_{an}}{I_{aI}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q\sqrt{\left[(1-n^2)+\frac{n^2}{Q}\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}\right]^2 + \left[\frac{n^2-1}{n}\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}+\frac{n}{Q}\right]^2}} =$$

$$= \frac{I_{an}}{I_{aI}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[(1-n^2)+n^2\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2 + \left[\left(\frac{n^2-1}{n}\right)Q\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+\frac{n}{Q}\right]^2}} \qquad (5.3.3-10)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_I}}\right| = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_I}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[3-4\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\left[\frac{3}{2}Q\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+\frac{2}{Q}\right]^2}} \ldots\ldots (5.3.3-11)$$

5.3.4. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD π3.

$$X_3 = \frac{-R_0}{\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}} \ldots\ldots (5.3.4-1)$$

$$X'_3 = -R\sqrt{\frac{R_0}{R}-1} \ldots\ldots\ldots (5.3.4-2)$$

$$\frac{X_1}{R} = Q \ldots\ldots\ldots (5.3.4-3)$$

$$X_{1n} = nX_1 \ldots\ldots (5.3.4-4)$$

$$X_{2_n} = \frac{X_2}{n} \quad \ldots\ldots (5.3.4.-5)$$

$$X_{3_n} = \frac{X_3}{n} \quad \ldots\ldots (5.3.4.-6)$$

$$\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}} = \frac{R\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}}{X_1} - j\frac{R}{X_1} = \frac{1}{Q}\left(\sqrt{\frac{R_0}{R}-1} - j\right) \quad \ldots\ldots (5.3.4-7)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{R_0}{R}-1+1} = \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q} \quad \ldots\ldots (5.3.4-8)$$

$$\frac{\hat{I}_{a_n}}{\hat{I}_{R_n}} = \frac{nX_1 + \frac{X_2}{n}}{nX_1} - jR_0\frac{\left(nX_1 + \frac{X_2}{n} + \frac{X_3}{n}\right)}{n \cdot X_1 \cdot \frac{X_3}{n}} =$$

$$= \frac{n^2-1}{n^2} - \frac{X_3'}{n^2 X_1} - \frac{jR_0}{n}\left(\frac{n^2-1}{X_3} - \frac{X_3'}{X_1 X_3} + \frac{1}{X_1}\right) =$$

$$= \frac{1}{n^2}\left\{(n^2-1) + \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}}{Q} - j\left[\frac{n}{Q} - n(n^2-1)\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}\right]\right\} \quad \ldots\ldots (5.3.4-9)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_n}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q\sqrt{\left[(n^2-1) + \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}}{Q}\right]^2 + \left[\frac{n}{Q} - n(n^2-1)\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}\right]^2}} =$$

$$= \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[(n^2-1) + \sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2}}\right]^2 + n^2\left[\frac{1}{Q} - (n^2-1)\sqrt{\frac{R_0}{R} - \frac{1}{Q^2}}\right]^2}} \quad \ldots (5.3.4-10)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{4\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[3 + \sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2}}\right]^2 + 4\left[\frac{1}{Q} - 3Q\sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2}}\right]^2}} \quad \ldots (5.3.4.-11)$$

5.3.5. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD π 4.

$$X_3 = \frac{R_0}{\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}} \quad \ldots\ldots (5.3.5.-1)$$

$$X_3' = R\sqrt{\frac{R_0}{R}-1} \quad \ldots\ldots (5.3.5.-2)$$

$$-\frac{X_1}{R} = Q \quad \ldots\ldots (5.3.5.-3)$$

$$X_{1_n} = \frac{X_1}{n} \quad \ldots\ldots (5.3.5.-4)$$

$$X_{2_n} = \frac{X_2}{n} \quad \ldots\ldots (5.3.5.-5)$$

$$X_{3_n} = nX_3 \quad \ldots\ldots (5.3.5.-6)$$

$$\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}} = -\frac{R}{X_1}\sqrt{\frac{R_0}{R}-1} - j\frac{R}{X_1} = \frac{1}{Q}\left(\sqrt{\frac{R_0}{R}-1} + j\right) \quad \ldots\ldots (5.3.5.-7)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{R_0}{R}-1+1} = \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q} \quad \ldots\ldots (5.3.5.-8)$$

$$\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = \frac{\frac{X_1}{n} + \frac{X_2}{n}}{\frac{X_1}{n}} - jR_0\frac{\left(\frac{X_1}{n} + \frac{X_2}{n} + nX_3\right)}{\frac{X_1}{n} \cdot nX_3} =$$

$$= -\frac{X_3'}{X_1} - j\frac{R_0}{n}\left(-\frac{X_3'}{X_1 X_3} + \frac{n^2}{X_1}\right) =$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}}{Q} - \frac{j}{nQ}\left[\frac{R_0}{R}\left(1-n^2\right) - 1\right] \quad \ldots\ldots (5.3.5.-9)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_n}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{\sqrt{\left(\frac{R_0}{R}-1\right) + \frac{1}{n^2}\left[\frac{R_0}{R}(1-n^2) - 1\right]^2}} =$$

$$= \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2} + \frac{Q^2}{n^2}\left[\frac{R_0}{r}(n^2-1) + \frac{1}{Q^2}\right]^2}} \quad \ldots\ldots (5.3.5.-10)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2} + \frac{Q^2}{4}\left[3\frac{R_0}{r} + \frac{1}{Q^2}\right]^2}} \quad \ldots\ldots (5.3.5.-11)$$

5.3.6. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD π 5.

$$X_3 = -\frac{R_0}{\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1}} \quad \text{.......(5.3.6.-1)}$$

$$X'_3 = -R\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} \quad \text{.......(5.3.6.-2)}$$

$$\frac{X_1}{R} = Q \quad \text{.......(5.3.6.-3)}$$

$$X_{1_n} = nX_1 \quad \text{.......(5.3.6.-4)}$$

$$X_{2_n} = nX_2 \quad \text{.......(5.3.6.-5)}$$

$$X_{3_n} = \frac{X_3}{n} \quad \text{.......(5.3.6.-6)}$$

$$\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}} = \frac{R}{X_1}\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} - j\frac{R}{X_1} = \frac{1}{Q}\left(\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} - j\right) \quad \text{.......(5.3.6.-7)}$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1 + 1} = \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q} \quad \text{.......(5.3.6.-8)}$$

$$\frac{\hat{I}_{a_n}}{\hat{I}_{R_n}} = \frac{nX_1 + nX_2}{nX_1} - jR_0\frac{\left(nX_1 + nX_2 + \frac{X_3}{n}\right)}{nX_1 \cdot \frac{X_3}{n}} =$$

$$= -\frac{X'_3}{X_1} - j\frac{R_0}{n}\left(-\frac{n^2 X'_3}{X_1 X_3} + \frac{1}{X_1}\right) =$$

$$= \frac{1}{Q}\left\{\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} - \frac{j}{n}\left[\left(1 - n^2\right)\frac{R_0}{R} + n^2\right]\right\} \quad \text{.......(5.3.6.-9)}$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{k_n}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1 + \left[\left(\frac{1 - n^2}{n}\right)\frac{R_0}{R} + n\right]^2}} =$$

$$= \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2} + Q^2 n^2\left[\frac{1 - n^2}{n^2} \cdot \frac{R_0}{r} + \frac{1}{Q^2}\right]^2}} \quad \text{.......(5.3.6.-10)}$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{11}}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_{11}}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2} + 4Q^2\left[\frac{3}{4}\,\frac{R_0}{r} - \frac{1}{Q^2}\right]^2}} \quad \text{.......(5 3 6 - 11)}$$

5.3,7. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD π 6.

$$X_3 = \frac{R_0}{\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1}} \quad \text{.......(5.3.7-1)}$$

$$X'_3 = R\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} \quad \text{.......(5.3.7-2)}$$

$$\frac{X_1}{R} = Q \quad \text{.......(5.3.7.-3)}$$

$$X_{1_n} = nX_1 \quad \text{.......(5.3.7.-4)}$$

$$X_{2_n} = \frac{X_2}{n} \quad \text{.......(5.3.7.-5)}$$

$$X_{3_n} = nX_3 \quad \text{.......(5.3.7.-6)}$$

$$\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}} = -\frac{R}{X_1}\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} - j\frac{R}{X_1} = -\frac{1}{Q}\left[\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} + j\right] \quad \text{.......(5.3.7-7)}$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1 + 1} = \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q} \quad \text{.......(5.3.7-8)}$$

$$\frac{\hat{I}_{a_n}}{\hat{I}_{R_n}} = \frac{nX_1 + \frac{X_2}{n}}{nX_1} - jR_0\left(\frac{nX_1 + \frac{X_2}{n} + nX_3}{nX_1 \cdot nX_3}\right) =$$

$$= \frac{n^2 - 1}{n^2} - \frac{X'_3}{n^2 X_1} - j\frac{R_0}{n^3}\left(\frac{n^2 - 1}{X_3} - \frac{X'_3}{X_1 \cdot X_3} + \frac{n^2}{X_1}\right) =$$

$$= \frac{1}{n^2}\left\{n^2 - 1 - \frac{\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1}}{Q} - \frac{j}{n}\left[\left(n^2 - 1\right)\sqrt{\frac{R_0}{R} - 1} + \frac{\left(n^2 - 1\right)\frac{R_0}{R} + 1}{Q}\right]\right\} \quad \text{..(5.3.7-9)}$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_n}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{R}}}{Q\sqrt{\left[n^2-1-\frac{\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}}{Q}\right]^2+\frac{1}{n^2}\left[(n^2-1)\sqrt{\frac{R_0}{R}-1}+\frac{(n^2-1)\frac{R_0}{R}+1}{Q}\right]^2}} =$$

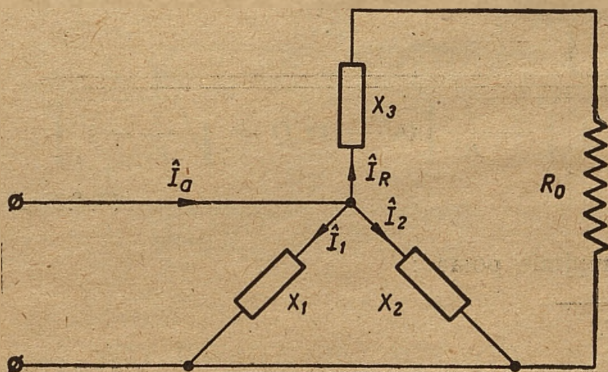
$$= \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{n^2\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[n^2-1-\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\frac{Q^2}{n^2}\left[(n^2-1)\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+(n^2-1)\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right]^2}} \qquad \ldots(5.3.7-10)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{I_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_1}} \cdot \frac{4\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[3-\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\frac{Q^2}{4}\left[3\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+3\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right]^2}} \qquad \ldots(5.3.7-11)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{III}}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_{III}}}{I_{a_1}} \cdot \frac{9\sqrt{\frac{R_0}{r}}}{\sqrt{\left[8-\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}\right]^2+\frac{Q^2}{9}\left[8\sqrt{\frac{R_0}{r}-\frac{1}{Q^2}}+8\frac{R_0}{r}+\frac{1}{Q^2}\right]^2}} \qquad \ldots(5.3.7-12)$$

5.4. WYPROWADZENIE WZORÓW NA TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁADY Y.

5.4.1. WYPROWADZENIE WSPÓLNE DLA UKŁADÓW Y.



Rys. 4. Rozpływ prądów w układzie Y.

Z rys. 4:

$$\hat{I}_a = \hat{I}_1 + \hat{I}_2 + \hat{I}_R \qquad (5.4.1-1)$$

$$\hat{I}_1 \cdot j X_1 = \hat{I}_2 \cdot j X_2 = \hat{I}_R (R_0 + j X_3) \qquad (5.4.1-2)$$

Z zależności (5.4.1−2):

$$\hat{I}_1 = \frac{\hat{I}_R (R_0 + j X_3)}{j X_1} \qquad (5.4.1-3)$$

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{I}_R (R_0 + j X_3)}{j X_2} \qquad (5.4.1-4)$$

Przez podstawienie (5.4.1−3, 4) do (5.4.1−1):

$$\hat{I}_a = \hat{I}_R \left[1 + (R_0 + j X_3)\left(\frac{1}{j X_1} + \frac{1}{j X_2}\right)\right] \qquad (5.4.1-5)$$

Stąd:

$$\frac{\hat{I}_a}{\hat{I}_R} = 1 + X_3\left(\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}\right) - j R_0 \left(\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}\right) \qquad (5.4.1-6)$$

Dla składowej podstawowej (rezonansowej) zależność (5.4.1−6) przekształcona zostanie na zasadzie warunku rezonansu. Warunek ten można przedstawić w postaci:

$$\frac{1}{X_2} = -\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X'_3} \qquad (5.4.1-7)$$

$$\frac{\hat{I}_{aI}}{\hat{I}_{RI}} = 1 + X_3\left(\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_1} - \frac{1}{X'_3}\right) -$$

$$- j R_0 \left(\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_1} - \frac{1}{X'_3}\right) = 1 - \frac{X_3}{X'_3} + j \frac{R_0}{X'_3} \qquad (5.4.1-8)$$

Dla n-tej harmonicznej zależność (5.4.1−6) przyjmie postać:

$$\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = 1 + X_{3n}\left(\frac{1}{X_{1n}} + \frac{1}{X_{2n}}\right) -$$

$$- j R_0 \left(\frac{1}{X_{1n}} + \frac{1}{X_{2n}}\right) \qquad (5.4.1-9)$$

5.4.2. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD Y1.

Układ Y1 charakteryzuje się następującymi zależnościami:

$$X_3 = R_0 \sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} \qquad (5.4.2-1)$$

$$X'_3 = \frac{r}{\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}} \qquad (5.4.2-2)$$

$$-\frac{r}{X_1} = Q \qquad (5.4.2-3)$$

$$X_{1n} = \frac{X_1}{n} \qquad (5.4.2-4)$$

$$X_{2n} = n X_2 \qquad (5.4.2-5)$$

$$X_{3n} = n X_3 \qquad (5.4.2-6)$$

Zależność (5.4.1—8) przekształca się do postaci:

$$\frac{\hat{I}_{aI}}{\hat{I}_{RI}} = 1 - \frac{R_0}{r}\left(\frac{r}{R_0} - 1\right) +$$

$$+ j\,\frac{R_0}{r}\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} = \frac{R_0}{r}\left(1 + j\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right) \qquad (5.4.2-7)$$

Stąd:

$$\left|\frac{\hat{I}_{aI}}{\hat{I}_{RI}}\right| = \sqrt{\frac{R_0}{r}} \qquad (5.4.2-8)$$

Wprowadzamy zależności (5.4.2—4, 5, 6) do (5.4.1—9), a następnie warunek rezonansu (5.4.1—7):

$$\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = 1 + n\,X_3\left(\frac{n}{X_1} + \frac{1}{n\,X_2}\right) -$$

$$- j\,R_0\left(\frac{n}{X_1} + \frac{1}{n\,X_2}\right) = 1 + X_3\left(\frac{n^2 - 1}{X} - \frac{1}{X'_3}\right) - j\,\frac{R_0}{n}\left(\frac{n^2 - 1}{X_1} - \frac{1}{X'_3}\right) \qquad (5.4.2-9)$$

Do (5.4.2—9) wprowadzamy zależności (5.4.2—1, 2, 3):

$$\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = 1 + \frac{(n^2 - 1)\,R_0}{X_1}\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} - \frac{R_0}{r}\left(\frac{r}{R_0} - 1\right) - j\,\frac{n^2 - 1}{n}\cdot\frac{R_0}{X_1} +$$

$$+ j\,\frac{R_0}{n\,r}\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} = \frac{R_0}{r}\left\{1 - (n^2 - 1)\,Q\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} + j\,\frac{1}{n}\left[(n^2 - 1)\,Q + \sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]\right\} \qquad (5.4.2-10)$$

Na podstawie zależności (5.2—1), (5.4.2—8) i (5.4.2—10):

$$\left|\frac{\hat{I}_{Rn}}{\hat{I}_{RI}}\right| = \frac{I_{an}}{I_{aI}}\cdot\frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[1 - (n^2 - 1)\,Q\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2 + \frac{1}{n^2}\left[(n^2 - 1)\,Q + \sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2}} \qquad (5.4.2-11)$$

Dla drugiej harmonicznej zależność (5.4.2—11) przyjmie postać:

$$\left|\frac{\hat{I}_{RII}}{\hat{I}_{RI}}\right| = \frac{I_{aII}}{I_{aI}}\cdot\frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[1 - 3\,Q\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2 + \frac{1}{4}\left[3\,Q + \sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2}} \qquad (5.4.2-12)$$

5.4.3. TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD Y2.

$$X_3 = -R_0\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} \;\ldots\ldots\; (5.4.3.-1)$$

$$X'_3 = -\frac{r}{\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}} \;\ldots\ldots\; (5.4.3.-2)$$

$$\frac{r}{X_1} = Q \;\ldots\ldots\; (5.4.3.-3)$$

$$X_{1n} = n\,X_1 \;\ldots\ldots\; (5.4.3.-4)$$

$$X_{2n} = \frac{X_2}{n} \quad \ldots\ldots\ldots (5.4.3.-5)$$

$$X_{3n} = \frac{X_3}{n} \quad \ldots\ldots\ldots (5.4.3.-6)$$

$$\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}} = 1 - \frac{R_0}{r}\left(\frac{r}{R_0} - 1\right) - j\frac{R_0}{r}\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} = \frac{R_0}{r}\left(1 - j\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right) \ldots (5.4.3.-7)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{a_1}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{R_0}{r}\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1 + 1} = \sqrt{\frac{R_0}{r}} \quad \ldots\ldots (5.4.3.-8)$$

$$\frac{\hat{I}_{a_n}}{\hat{I}_{R_n}} = 1 + \frac{X_3}{n}\left(\frac{1}{nX_1} + \frac{n}{X_2}\right) - jR_0\left(\frac{1}{nX_1} + \frac{n}{X_2}\right) =$$

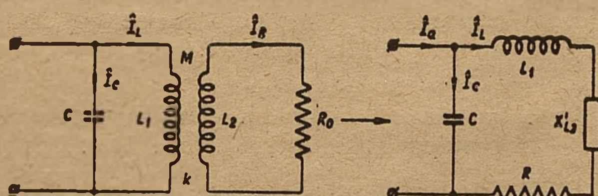
$$= 1 + X_3\left(\frac{1-n^2}{n^2 X_1} - \frac{1}{X'_3}\right) - jnR_0\left(\frac{1-n^2}{n^2 X_1} - \frac{1}{X'_3}\right) =$$

$$= \frac{R_0}{r}\left[1 + \frac{n^2-1}{n^2} Q\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1} + j\left(\frac{n^2-1}{n} Q - n\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right)\right] \ldots\ldots (5.4.3.-9)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_n}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_n}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[1 + \frac{n^2-1}{n^2} Q\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2 + \left[\frac{n^2-1}{n} Q - n\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2}} \ldots (5.4.3.-10)$$

$$\left|\frac{\hat{I}_{R_{II}}}{\hat{I}_{R_1}}\right| = \frac{I_{a_{II}}}{I_{a_1}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{r}{R_0}}}{\sqrt{\left[1 + \frac{3}{4} Q\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2 + \left[\frac{3}{2} Q - 2\sqrt{\frac{r}{R_0} - 1}\right]^2}} \ldots (5.4.3.-11)$$

5.5. WYPROWADZENIE WZORÓW NA TŁUMIENIE HARMONICZNYCH PRZEZ UKŁAD *M*.



Rys. 5. Rozpływ prądów w układzie *M*.

Z rys 5:

$$\hat{I}_a = \hat{I}_c + \hat{I}_L \qquad (5.5-1)$$

$$\hat{I}_c \cdot j X_c = \hat{I}_L (j X_{L1} + j X'_{L2} + R) \qquad (5.5-2)$$

$$\hat{I}_R = -j \frac{\hat{I}_L \cdot X_m}{R_0 + j X_{L2}} \qquad (5.5-3)$$

Z zależności (5.5—3):

$$\hat{I}_L = -\frac{\hat{I}_R (R_0 + j X_{L2})}{j X_m} \qquad (5.5-4)$$

Z zależności (5.5—2) i (5.5—4):

$$\hat{I}_c = \frac{\hat{I}_R (R_0 + j X_{L2})(j X_{L1} + j X'_{L2} + R)}{X_m \cdot X_c} \qquad (5.5-5)$$

Podstawiamy (5.5—4) i (5.5—5) do (5.5—1):

$$\hat{I}_a = \hat{I}_R \cdot \frac{(R_0 + j X_{L2})}{X_m}\left(j + \frac{j X_{L1} + j X'_{L2} + R}{X_c}\right) \qquad (5.5-6)$$

Stąd:

$$\frac{\hat{I}_a}{\hat{I}_R} = \frac{R_0 \cdot R - X_{L2}(X_c + X_{L1} + X'_{L2})}{X_m \cdot X_c} + j\,\frac{R_0 (X_c + X_{L1} + X'_{L2}) + R X_{L2}}{X_m \cdot X_c} \qquad (5.5-7)$$

Dla składowej podstawowej (rezonansowej) zależność (5.5—7) przekształcimy na zasadzie warunku rezonansu:

$$X_c + X_{L1} + X'_{L2} = 0 \qquad (5.5-8)$$

Wtedy:

$$\frac{\hat{I}_{aI}}{\hat{I}_{RI}} = \frac{R (R_0 + j X_{L2})}{X_m \cdot X_c} = -\frac{R_0 (1 + j Q_2)}{X_m \cdot Q} \qquad (5.5-9)$$

Dla n-tej harmonicznej zależność (5.5—7) przyjmie postać:

$$\frac{\hat{I}_{an}}{\hat{I}_{Rn}} = \frac{R_0 \cdot R_n - X_{L2n}(X_{cn} + X_{L1n} + X'_{L2n})}{X_{mn} \cdot X_{cn}} + j\,\frac{R_0 (X_{cn} + X_{L1n} + X'_{L2n}) + R_n \cdot X_{L2n}}{X_{mn} \cdot X_{cn}} \qquad (5.5-10)$$

Obecnie zostaną określone poszczególne wielkości, wchodzące w skład (5.5—10) i mające znaczek n:

$$X_{cn} = \frac{X_c}{n} \qquad (5.5-11)$$

$$X_{L1n} = n\, X_{L1} \qquad (5.5-12)$$

$$X_{L2n} = n\, X_{L2} \qquad (5.5-13)$$

$$X_{mn} = n\, X_m \qquad (5.5-14)$$

$$X'_{L2n} = -\, X_{L2n} \cdot \frac{k^2 \,.\, X_{L1n} \,.\, X_{L2n}}{R_0^2 + X^2_{L2n}} = -\frac{n\, X_{L2}\,,\; k^2 \,.\, n\, X_{L1} \,.\, n\, X_{L2}}{R_0^2 + n^2\, X^2_{21}} = n^3 \,.\, X'_{L2} \,.\, \frac{1 + Q^2_2}{1 + n^2\, Q^2_2} \qquad (5.5-15)$$

$$R_n = R_0 \,.\, \frac{k^2 \,.\, X_{L1n} \,.\, X_{L2n}}{R_0^2 + X^2_{L2n}} = R_0\, \frac{k^2 \,.\, n\, X_{L1} \,.\, n\, X_{L2}}{R_0^2 + n^2\, X^2_{L2}} = n^2 \,.\, R \,.\, \frac{1 + Q^2_2}{1 + n^2\, Q^2_2} \qquad (5.5-16)$$

Po podstawieniu zależności (5.5—11, 12, 14, 15, 16) do (5.5—10), a następnie wykorzystując warunek rezonansu i zależność:

$$\frac{X'_{L2}}{X_c} = \frac{Q_2}{Q} \qquad (5.5-17)^*)$$

otrzymuje się następujący wynik:

$$\frac{\widehat{I}_{an}}{\widehat{I}_{Rn}} = \frac{R_0}{X_m} \cdot \left[Q_2\, (n^2 - 1) - \frac{n^2}{Q} + j \left(\frac{1 - n^2}{n} - n\, \frac{Q_2}{Q} \right) \right] \qquad (5.5-18)$$

Na podstawie zależności (5.2—1), (5.5—9) i (5.5—18):

$$\left| \frac{\widehat{I}_{Rn}}{\widehat{I}_{RI}} \right| = \frac{I_{an}}{I_{aI}} \cdot \frac{\sqrt{1 + Q^2_2}}{Q \sqrt{\left[Q_2\, (n^2 - 1) - \frac{n^2}{Q} \right]^2 + \left| \frac{n^2 - 1}{n} + n\, \frac{Q_2}{Q} \right|^2}} \qquad (5.5-19)$$

Dla drugiej harmonicznej zależność (5.5—19) przyjmie postać:

$$\left| \frac{\widehat{I}_{RII}}{\widehat{I}_{RI}} \right| = \frac{I_{aII}}{I_{aI}} \cdot \frac{\sqrt{1 + Q^2_2}}{Q \sqrt{\left(3\, Q_2 - \frac{4}{Q} \right)^2 + \left(\frac{3}{2} + 2\, \frac{Q_2}{Q} \right)^2}} \qquad (5.5-20)$$

6. WYKAZ LITERATURY.

1. *Frederick Emmons Terman.* Radio Engineer's Handbook. 1943.
2. *Franklin F. Offner.* The Effect of Q on Power-Amplifier Efficiency. P.I.R.E. November 1946.
3. *Ryżko Stanisław.* Sprawność generatorów lampowych i sposoby jej zwiększenia. Praca jeszcze nie opublikowana.
4. *Wesley M. Roberds.* Problems in the Design of High-Frequency Heating Equipment. P.I.R.E. July 1946.
5. *J. W. Labus* and *Hans Roder*, The Suppression of Radio-Frequency Harmonics in Transmitters. P.I.R.E. June 1931.
6. *Austin V. Eastman.* Fundamentals of Vacuum Tubes. 1941. (str. 385).
7. *W. Nienałtowski.* Zniekształcenia amplitudy małej częstotliwości na obwodach rezonansowych. Kwartalnik Telekomunikacyjny, 1947. Nr 1—2.
8. *A. Czechowski.* Projektowanie układów wyjściowych w urządzeniach radionadawczych. Kwartalnik Telekomunikacyjny. 1948. Nr 2—3.

*) Wg. 6.8, zależności: (5.3—4) i (5.2—1).

Treść rocznika 1948

Zestawienie według nazwisk autorów

Adres Redakcji i Administracji: **Warszawa, Nowogrodzka 45, III p., telef. 871-70.**
Konto: „Przegląd Telekomunikacyjny" PKO w Warszawie Nr I-4430
Sekretariat czynny codziennie od godz. 9 do 14.

WARUNKI PRENUMERATY

Rocznie . . . . ZŁ. 400.–
Kwartalnie . . . . ZŁ. 100.–
Pojedyńczy numer . . . . ZŁ. 100.–

Redaktor: **inż. Henryk Kowalski.** Wydawca: **Sekcja Telekomunikacyjna SEP**
Druk Państwowy Instytut Telekomunikacyjny — Warszawa, ul. Ratuszowa 11. B-66615